doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2020.01.24

滴灌条件下盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)种植年限对盐碱地土壤盐分离子分布的影响①

王　旭[1,2]，　田长彦[1]，　赵振勇[1]，　张　科[1]，　李艳红[3]

(1　中国科学院新疆生态与地理研究所　荒漠与绿洲生态国家重点实验室,新疆　乌鲁木齐　830011;
2　中国科学院大学,北京　100049;　3　克拉玛依区园林绿化管理局,新疆　克拉玛依　834000)

摘　要: 采用时空转化的方法研究了滴灌条件下不同盐地碱蓬种植年限(0 a、1 a、2 a 和 3 a)对重度盐碱地土壤盐分及盐离子在 0~120 cm 土壤剖面的分布特征的影响,为盐地碱蓬在盐碱地中的改良利用提供理论依据。试验结果表明:滴灌种植盐地碱蓬后土壤盐分在剖面的分布发生明显变化,根区(0~40 cm)土壤含盐量随种植年限增加而下降,根底(40~120 cm)土壤则先增加后下降;Na^+ 和 Cl^- 因容易被水淋洗和植物选择性吸收多,根区土壤中 Na^+ 和 Cl^- 含量随种植年限增加有显著降低,Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 不易随水移动,淋洗程度低,HCO_3^- 和 Mg^{2+} 第 2 a 和第 3 a 的淋洗效果明显好于第 1 a;经过 3 a 种植后土壤中毒害离子 Na^+ 与 Cl^- 和在表层盐分组成中的比例下降,Ca^{2+} 比例上升,钠吸附比(*SAR*)值显著降低。

关 键 词: 滴灌;盐地碱蓬(*Suaeda salsa*);种植年限;离子分布

土壤盐渍化是制约农业生产的主要障碍因素,据统计在干旱、半干旱地区,10%~50%的灌溉地受到盐渍化的影响[1-2]。我国盐渍化耕地面积达到 9.209×10^6 hm^2,占全国耕地面积的 6.62%[3]。新疆是我国盐碱地集中分布的大区,总面积约 1.093×10^7 hm^2[4]。新疆克拉玛依农业综合开发区地处准葛尔盆地西北缘,开发区内盐土占 19.4%,盐渍化土占 47.3%,其中轻、中、强盐渍化土分别为 25.4%、13.8%和 8.1%,盐土和盐渍化土占总面积的 1/2 以上[5]。盐渍土的开发利用对当地农业生产发展具有重要的意义。

传统的盐渍土改良措施主要有淡水洗盐、沟渠排盐等[6],这些措施存在耗水量大,成本高等缺点,在淡水资源缺乏形式下,已难以维继。对于干旱地区农业而言,生物改良措施是一种较为理想的途径。盐生植物作为盐碱地改良的先锋,已被应用于实践。滴灌较之常规的漫灌、沟灌方式具有节水、地形适应性强、利于作物吸收等优点,一定程度地抑制了由于强度灌溉造成的潜水上升和土壤返盐[7],滴灌高效节水方式促进了生物排盐效果。彭飞等[8]的研究发现滴灌条件下种植黑枸杞后盐渍土盐分分布发生变化,根际和冠幅下土壤盐分含量升高,冠幅外土壤盐分含量下降。赵振勇等[9]研究表明,灌溉条件下,盐角草和盐地碱蓬地上生物量达 11 044 $kg\cdot hm^{-2}$ 和 19 119 $kg\cdot hm^{-2}$,地上部分刈割移除灰分盐分别为 4 709 $kg\cdot hm^{-2}$ 和 5 184 $kg\cdot hm^{-2}$。目前,针对滴灌条件下作物种植对盐分离子分布的影响已有大量的研究[10-12],而对滴灌条件下盐生植物种植对土壤盐分离子分布的影响研究还比较少。由于不同盐分离子随水的淋洗速率不同,同时由于盐生植物对盐离子有选择性吸收和富集的特点[13],在利用盐生植物改良盐渍土过程中土壤盐分离子的组成也会发生变化,这种变化规律的研究对水盐调控有重要的作用。因此,本文以克拉玛依农业综合开发区重度盐碱地为研究对象,通过大田试验,探讨滴灌条件下盐地碱蓬(*Suaneda salsa*)种植对土壤盐分离子分布的影响,从而为盐生植物在盐渍土的改良利用提供理论依据。

① **收稿日期:** 2019-05-24;　**修订日期:** 2019-10-27
基金项目: 中国科学院重点部署项目课题(KSZD-EW-Z-022-03);中国科学院科技服务网络计划(STS)课题(KFJ-EW-STS-061-1)
作者简介: 王旭(1992-),男,硕士研究生,主要从事盐生植物开发与利用研究. E-mail:wangxu113@mails.ucas.ac.cn
通讯作者: 田长彦. E-mail:tianchy@ms.xjb.ac.cn

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验在新疆克拉玛依农业综合开发区进行。该开发区位于准格尔盆地西北边缘湖积平原上，属于典型的温带大陆性干旱荒漠气候，冬季严寒，年极端最低温度可达 -35.9 ℃，夏季高温炎热，年极端最高气温可达 42.9 ℃。多年平均降水为 105.3 mm，潜在蒸发量 3 545 mm，无霜期 150 ~ 220 d。试验地土壤为沉积母质发育而成的盐土，表层含盐量 40.66 ~ 56.81 g · kg^{-1}，pH 为 7.61，土壤盐化学类型为氯化物。土壤质地组成以粉粘粒为主，不同土壤层次间质地组成差异不大。地下水平均埋深为 3 m，灌溉水来自克拉玛依市的西郊水库，水体矿化度均值 0.21 g · L^{-1}。盐荒地盐分离子组成见表 1。

1.2 试验设计与布置

试验在未开垦的盐碱荒地上进行，以开垦年限为处理，种植年限分别为 0 a（盐碱荒地），1 a（2015 年种植），2 a（2014 年种植）和 3 a（2013 年种植）。供试植物为盐地碱蓬。灌溉方式为滴灌，滴灌带布设采用"一管一行"的方式，盐地碱蓬种子于每年 5 月上旬条布播于滴灌带毛管两侧 20 cm 的范围内，形成 40 cm 宽的播种带，滴头间距 0.2 m，行距 1.0 m。播后 45 d 定苗，80 株 · m^{-2}。定期灌水。

1.3 土壤样品采集

在 10 月下旬盐地碱蓬收获后，分别在不同种植年限的地块，以滴头为中心，距滴头水平距离 0 cm、25 cm、50 cm 处，依次采集 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm、80 ~ 100 cm 和 100 ~ 120cm 等 7 层土样，每个处理取 3 次重复。同时在盐碱荒地采集相同土层的土样作为对照，取 3 个重复。0 ~ 40 cm 土层土壤与植物生长密切相关且变化剧烈，故本文将着重讨论根区土壤盐分的变化情况。

1.4 离子的测定

土样经自然风干后，碾细过 1 mm 筛，制备水土比为 5 ∶1 的土壤浸提液备用。土壤总盐用烘干法测定（水土比 5 ∶1），碳酸氢根采用双指示剂—中和滴定法，硫酸根采用 EDTA 间接滴定法，氯离子采用 $AgNO_3$ 滴定法，钙和镁离子采用 EDTA 络合滴定法，钠离子采用火焰光度法，具体分析方法见参考文献[14]。

1.5 数据处理和分析

数据经 Excle 整理后，利用统计软件 SPSS 16.0 进行相关分析，用 Surfer 8.0 和 origin 8.0 进行图表的绘制。

表 1 盐荒地盐分离子组成

Tab. 1 Ion composition of uncropped saline waste land

土壤层次 / cm	总盐 / g · kg^{-1}	土壤离子组成 / g · kg^{-1}						
		HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
0 ~ 10	58.86	0.08	28.72	5.66	2.82	3.57	0.05	13.06
10 ~ 20	42.82	0.08	18.29	8.51	3.09	2.61	0.06	9.81
20 ~ 40	40.29	0.10	15.26	7.40	1.90	2.93	0.06	10.05
40 ~ 60	28.43	0.08	12.91	5.17	1.22	1.72	0.04	9.45
60 ~ 80	27.77	0.08	10.93	4.93	1.50	1.37	0.04	9.02
80 ~ 100	25.52	0.08	10.81	5.69	1.59	1.07	0.04	8.21
100 ~ 120	21.11	0.90	9.16	3.09	1.58	0.66	0.03	7.59

2 结果与分析

2.1 种植年限对土壤盐分分布特征的影响

滴灌条件下，土壤盐分的主要迁移形式是随土壤水流动的运移[15]。图 1 显示，未开垦的盐荒地存在明显的盐分表聚现象，0 ~ 10 cm 土层土壤盐分含量最高，达到 58.86 g · kg^{-1}，随着土壤深度的增加土壤盐分含量逐渐下降。不同种植年限土壤剖面上的土壤盐分分布出现 2 种现象：根区（0 ~ 40 cm）土壤盐分随种植年限增加逐步下降，从未种植的 45.57 g · kg^{-1}下降到种植 1 a、2 a 和 3 a 后的 31.63 g · kg^{-1}、27.74 g · kg^{-1}和 20.18 g · kg^{-1}；在根底（40 ~ 120 cm）土壤盐分含量则随种植年限增加先上升后降低，未种植、种植 1 a、2 a 和 3 a 后土壤盐分含量分别为 25.71 g · kg^{-1}、25.79 g · kg^{-1}、34.03 g · kg^{-1} 和28.09 g · kg^{-1}。种植3 a后整个土壤剖

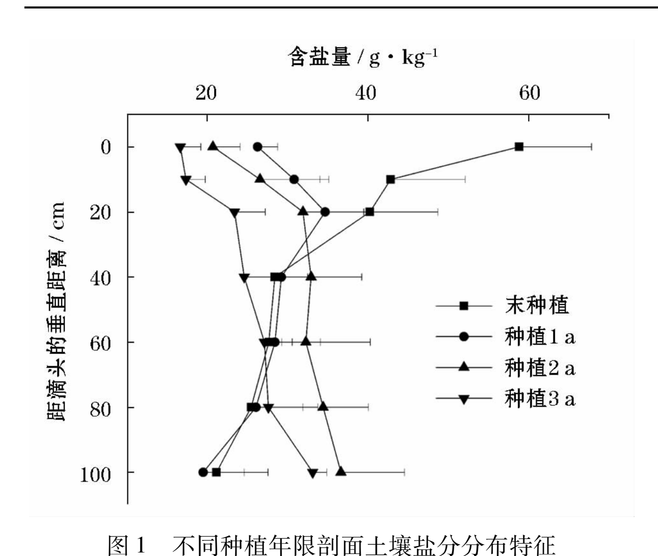


图 1　不同种植年限剖面土壤盐分分布特征

Fig. 1　Characteristics of soil salinity in bed profiles in different planting years

面(0～120 cm)土壤盐分含量由 32.33 g·kg^{-1}下降为 25.45 g·kg^{-1}。

2.2　种植年限对主要盐分离子在土壤剖面分布的影响

滴灌条件下,土壤盐分随水分移动,而盐分组成中各离子因离子浓度、离子电荷数、水化半径[16]和植物选择性吸收不同[13],各离子在空间的分布特征也不相同。图 2 显示地上部分收获期不同种植年限主要盐分离子在土壤剖面上的分布情况。

2.2.1　阴离子的分布　Cl^-分布:Cl^-是一价阴离子,不易被土壤胶体吸附,随水分迁移能力强,同时由于盐地碱蓬对 Cl^- 的选择性吸收,在滴头附近出现 Cl^-含量的下降区域且随种植年限的增加在横向和纵向两个方向上扩大,在这个区域外围出现了 Cl^-的累积区。根区(0～40 cm)土壤 Cl^- 含量随种植年限增加而快速下降,种植 1 a、2 a 和 3 a 后与盐荒地相比分别下降了 35.76%、48.83% 和 58.32%。盐荒地、种植 1 a、2 a 和 3 a 后根底土壤 Cl^- 含量分别为 10.95 go·kg^{-1}、10.21 g·kg^{-1}、13.79 g·kg^{-1}和 12.68 g·kg^{-1},说明 Cl^-在土壤中有逐渐向下淋洗的过程。

SO_4^{2-} 分布:SO_4^{2-} 的水化半径大,被土壤胶体吸附的能力强,不易随水分移动,不同种植年限处理间 SO_4^{2-} 分布差异不如 Cl^-明显。种植 1 a、2 a 和 3 a 后根区土壤 SO_4^{2-} 含量分别为 4.96 g·kg^{-1}、4.84 g·kg^{-1}和 3.95 g·kg^{-1},与盐荒地相比分别下降 31.55%、33.17% 和 45.39%。根底土壤 SO_4^{2-} 含量变化没有根区明显,种植 1 a、2 a 和 3 a 后分别为 4.12 g·kg^{-1}、2.81 g·kg^{-1}和 3.21 g·kg^{-1},与盐荒地相比分别下降了 12.74%、40.58% 和 31.97%。

HCO_3^- 分布:HCO_3^- 在土壤中浓度较低,水化半径大,HCO_3^- 的淋洗速度相对较小。在根区土壤 HCO_3^- 含量种植 1 a、2 a 和 3 a 后与盐荒地相比分别下降 8.72%、14.05% 和 19.4%。根底土壤 HCO_3^- 含量变化不明显。

2.2.2　阳离子的分布　Na^+分布:如图 2 所示,不同种植年限处理间 Na^+分布差异明显,随着种植年限的增加,土壤中 Na^+逐渐向下迁移,发生 Na^+下降的区域增大,与 Cl^-的分布相似,这与 Na^+水化半径小及盐地碱蓬的选择吸收有关。种植 3 a 后迁移最明显,剖面土壤 Na^+ 含量与盐荒地相比下降 20.02%,根区土壤下降 49.84%,根底土壤变化不明显。

Ca^{2+}、Mg^{2+}分布:Ca^{2+}、Mg^{2+}是二价阳离子易被土壤胶体吸附,同时由于 Na^+被淋洗含量下降,土壤胶体吸附的 Na^+被交换能力强的 Ca^{2+}、Mg^{2+}交换,所以这两种离子在土壤中移动性差。在种植 1 a、2 a和 3 a 后 Ca^{2+} 的累积区分别出现在 0～10 cm、0～20 cm 和 0～30 cm 土层。Mg^{2+}的水化半径小于 Ca^{2+},被土壤胶体的吸附性小于 Ca^{2+},移动性强于 Ca^{2+},在种植 1 a、2 a 和 3 a 后 Mg^{2+}的累积区分别出现在 20～40 cm、30～60 cm 和 60 cm 以下土层。

2.3　种植年限对盐分离子组成的影响

土壤盐渍化对植物的影响既来自于表层土壤较高的离子浓度,也来自于土壤中盐离子的不平衡性[17],因此对表层土壤盐分离子组成情况的分析有助判断盐渍土的改良情况。如表 2 所示,Na^+和 Cl^-是植物的主要毒害离子,与盐荒地相比(72%),种植后 Na^+ 与 Cl^- 和占比下降,种植 2 a 后最低(54.89%);SO_4^{2-} 和 Ca^{2+}比例随着种植年限增加有先增加后下降的趋势,说明这两种离子在土壤中移动性差;HCO_3^- 比例有逐渐增加的趋势,则是受灌溉水中较高的 HCO_3^- 含量和植物根系呼吸的影响;Mg^{2+}没有明显的变化趋势。种植盐地碱蓬后,Na^+、Cl^-和 SO_4^{2-} 仍是土壤中的主要离子,但 Na^+与 Cl^-和占的比例显著下降,对植物的毒害作用减弱,Ca^{2+}比例上升,说明土壤环境得到改善。

2.4　种植年限对土壤类型的影响

土壤类型的动态变化,可用于了解盐渍土的演化情况,从而采取适宜应对措施。土壤类型的分类

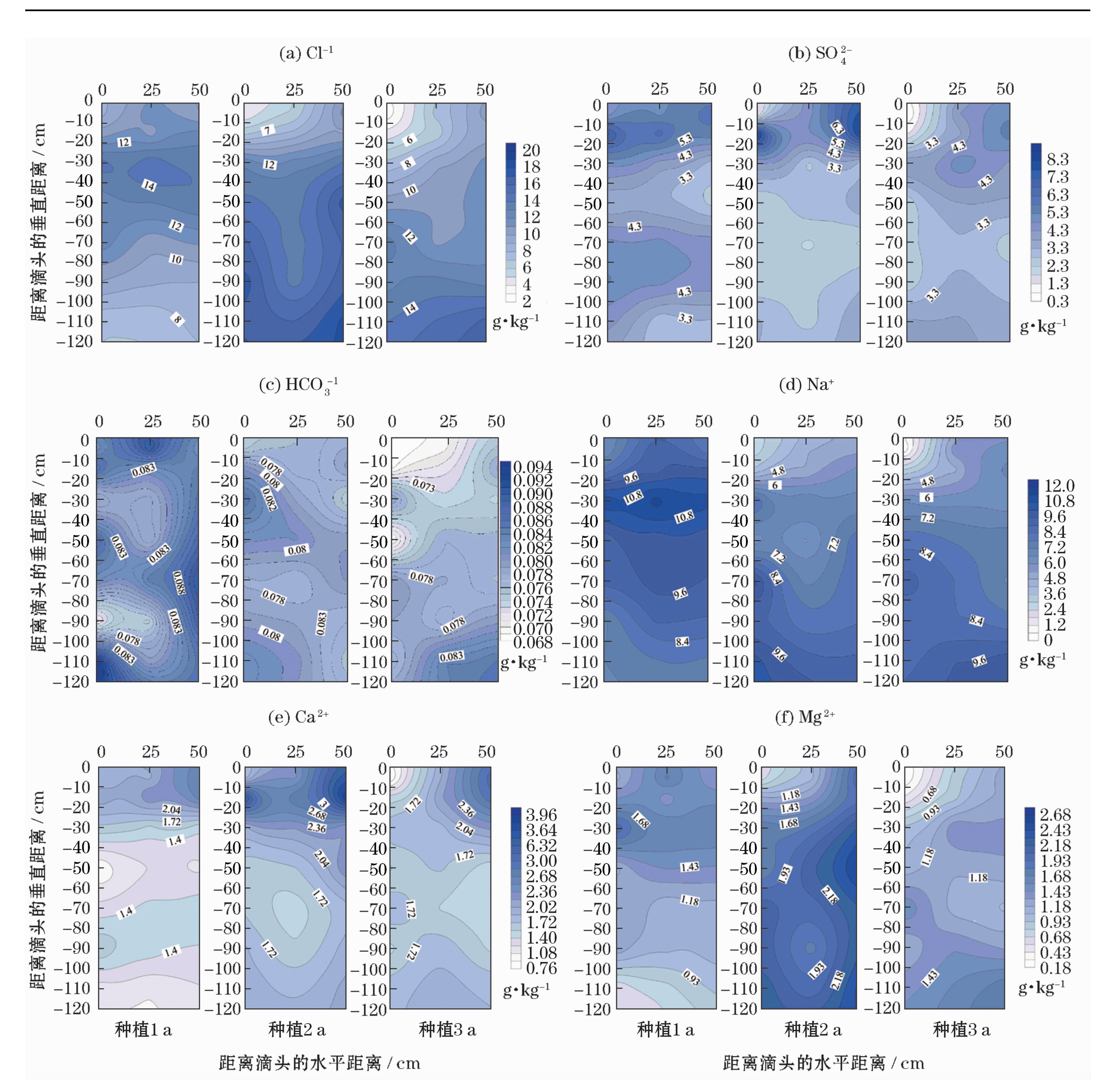


图 2 不同种植年限主要盐分离子在土壤剖面上的分布

Fig. 2 Distribution of main salt ions in bed profiles in different planting years

表 2 不同种植年限各主要盐分离子占表层(0～20 cm)土壤总盐的百分比

Tab. 2 Percentages of each salt ion in salt content of upper layers in different planting years

种植年限 / a	HCO_3^- / %	Cl^- / %	SO_4^{2-} / %	Na^+ / %	Ca^{2+} / %	Mg^{2+} / %
0	0.17	48.32	15.25	23.68	6.26	6.32
1	0.30	36.98	20.17	29.93	7.81	4.80
2	0.44	35.65	24.58	19.24	14.04	6.04
3	0.64	41.80	16.88	23.08	12.99	4.60

是以耕层(0～20 cm)范围内土壤盐分含量及其他参数作为指示指标。在本文，选择 Cl^-/SO_4^{2-}、钠吸附比(*SAR*)和土壤含盐量分别从土壤化学类型、碱度和盐度来了解土壤类型的变化。

$$SAR = [Na^+] \Big/ \sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])/2}$$

种植 1 a、2 a 和 3 a 后耕层土层土壤 Cl^-/SO_4^{2-}、*SAR* 和土壤含盐量变化如表 3 所示，作为对照的盐荒地土壤 Cl^-/SO_4^{2-}、*SAR* 和土壤含盐量分别为 5.02 $g \cdot kg^{-1}$、11.17 $g \cdot kg^{-1}$ 和 50.84 $g \cdot kg^{-1}$，属于 Cl^- 型。土壤 Cl^-/SO_4^{2-} 平均值随种植年限增加先增加后降低，分别为 2.72、2.62 和 4.41，土壤类

型先转变为 $SO_4^{2-}-Cl^-$ 型,又转变为 Cl^- 型,说明土壤中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 有渐次迁移的趋势。不同种植年限土壤 *SAR* 值均在滴头左右最小,在距滴头 25 cm 和 50 cm 处土壤 *SAR* 值较高,土壤 *SAR* 平均值的变化和 Cl^-/SO_4^{2-} 类似。表层土壤平均含盐量随种植年限增加而下降,以种植 1 a 下降幅度最大,在水平方向上不同种植年限有一致的分布规律,盐含量随着与滴头距离增加而增加,种植 3 a 后滴头处盐含量为 6.9 g · kg^{-1},由盐土转变为重度盐化土,其他区域土壤仍为盐土。

表 3　土壤 Cl^-/SO_4^{2-} 比值、钠吸附比(*SAR*)和土壤含盐量在表层土壤(0~20 cm)中的变化

Tab. 3　Changes of ratio Cl^- to SO_4^{2-}, *SAR* and soil salt content in 0~20 cm layer

距滴头水平	Cl^-/SO_4^{2-}			*SAR*			土壤含盐量 / g · kg^{-1}		
距离 / cm	1 a	2 a	3 a	1 a	2 a	3 a	1 a	2 a	3 a
0	2.56	2.96	7.66	10.08	3.8	3	25.33	17.83	6.9
25	3.04	2.95	2.89	12	5.57	7.96	29.93	20.61	17.62
50	2.68	1.94	2.69	11.46	5.9	7.97	30.4	32.33	26.39
平均	2.76	2.62	4.41	11.18	5.09	6.31	28.55	23.59	16.97

3　讨 论

通过上述试验结果可以看出,重盐碱地滴灌种植盐地碱蓬后土壤盐分在剖面的分布特征发生变化,由表聚型分布转变为底积型分布,根区土壤盐分在灌溉水的淋洗作用和盐地碱蓬的移盐作用下大幅下降,这与滴灌种植枸杞后土壤盐分在剖面的变化类似[18]。根底土壤盐分在种植 3 a 后有所升高,可能与上层盐分向下淋洗和当地地下水位上升造成的盐分上行有关[19]。种植 3 a 后整个土壤剖面土壤盐分含量由 32.33 g · kg^{-1}下降为 25.45 g · kg^{-1}。

不同盐分离子水化半径、离子电荷数、离子浓度和选择性吸收不同,在土壤剖面的分布存在分异性。Na^+、Cl^- 和 Mg^{2+} 在土壤剖面分布较为接近,随着种植年限增加,快速向下淋洗,表层含量下降。Na^+ 电荷数少且水化半径小,受到土壤胶体吸附力弱。土壤胶体由于同晶替代等原因一般带正电荷对阴离子 Cl^- 吸附较弱,Na^+ 和 Cl^- 随水分的移动能力强[20],同时由于植物选择性吸收 Na^+ 和 Cl^- 以进行渗透调节,根区土壤中的 Na^+ 和 Cl^- 含量随种植年限增加迅速下降这和以往的研究结果相符[10]。Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 是二价阳离子,在土壤中 Na^+ 含量减少时,易与 Na^+ 发生交换被土壤胶体吸附,随水移动性差。Mg^{2+} 的水化半径小于 Ca^{2+},随水移动性好于 Ca^{2+}。HCO_3^- 水化半径大,在种植第 1 a 根区土壤淋洗不明显,但是第 2 a 和第 3 a 迅速下降,可能与植物根系产生的酸性分泌物有关,和以往的研究结果相符[21]。SO_4^{2-} 和土壤胶体的吸附能力强,随水分的移动性差,不同种植年限处理间 SO_4^{2-} 分布差异小于 Cl^-。

随着种年限的增加,由于土壤中不同盐分离子的淋洗速度不同,会对表层土壤的盐分离子组成产生影响[10],土壤中盐分离子组成和土壤的盐害作用密切相关。经过 3 a 种植后表层土壤中毒害离子 Na^+ 和 Cl^- 的和在盐分组成中的比例下降,Ca^{2+} 比例上升使土壤结构改善[22],表层土壤环境得到改善。由于 Cl^- 和 SO_4^{2-} 淋洗速度不同,土壤类型出现反复变化,在经过 3 a 种植后又转变为 $SO_4^{2-}-Cl^-$ 型重度盐碱地,但在水分长期的淋洗作用和植物对 Cl^- 相对富集作用下,土壤 Cl^-/SO_4^{2-} 值会随种植年限的继续增加而下降,滴头附近土壤盐分由于滴灌淋洗作用下降明显,土壤含盐量由 50.84 g · kg^{-1}下降为 16.97 g · kg^{-1},由盐土转变为重度盐渍土,土壤 *SAR* 值由 11.17 下降为 6.31。

4　结 论

滴灌种植盐地碱蓬后,盐分和盐分离子在土壤剖面中的分布特征发生变化。随着种植年限的增加,根区土壤盐分和主要盐分离子含量下降,盐分离子组成发生改变,毒害离子的比例下降,根区土壤 Cl^-/SO_4^{2-} 值和 *SAR* 下降,根区土壤环境得到改善,根底土壤盐分有所上升,整个剖面土壤盐分含量下降,为以后的利用提供了良好的作物根系生长环境。因此,重盐碱地可以采用滴灌种植盐地碱蓬的模式进行改良利用。当然,本文结论只建立在 3 a 的试验结果上,所得结论有一定的局限性,仍需进一步的研究。

参考文献(References)

[1] BOT A J, NACHTERGADLE F O, YOUNG A. Land resource potential and constraints at regional and country levels[R]. Italy: Food and Agriculture Organisation, 2000.

[2] WILLIAMS J, WALKER G R, HATTON T J. Dryland salinization: A challenge for land and water management in the Australian landscape[J]. Agriculture, Hydrology and Water Quality, 2002: 458 – 473.

[3] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社, 1998. [The National Soil Survey Office. Soils of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998.]

[4] 赵振勇, 乔木, 吴世新, 等. 新疆耕地资源安全问题及保护策略[J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 1019 – 1025. [ZHAO Zhenyong, QIAO Mu, WU Shixin, et al. Cultivated land resources security of oases and its conservation strategies in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(6): 1019 – 1025.]

[5] 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁, 等. 克拉玛依农业开发区土壤理化性状及其可持续发展利用[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 50 – 53. [QIAN Yibing, JIANG Jin, WU Zhaoning, et al. Soil physical-chemical properties and agricultural sustainable development in exploitation area of Kelamayi[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(1): 50 – 53.]

[6] 赵可夫, 范海, 江兴玉, 等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(1): 31 – 35. [ZHAO Kefu, FAN Hai, JIANG Xingyu, et al. Improvement and utilization of saline soil by planting halophytes[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2002, 8(1): 31 – 35.]

[7] 张江辉, 王全九, 巨龙, 等. 田间滴灌入渗与蒸发条件下土壤水盐分布特征[J]. 干旱区地理, 2009, 32(5): 685 – 690. [ZHANG Jianghui, WANG Quanjiu, JU Long, et al. Distribution features of field soil water and salt under the drip irrigation and evaporation[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(5): 685 – 690.]

[8] 彭飞, 黄翠华, 尤全刚, 等. 种植黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)对盐渍土盐分分布的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1406 – 1412. [PENG Fei, HUANG Cuihua, YOU Quangang, et al. Effects of plantation of *Lycium ruthenicum* on the soil salt distribution in the Minqin Basin[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(5): 1406 – 1412.]

[9] 赵振勇, 张科, 王雷, 等. 盐生植物对重盐渍土脱盐效果[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1420 – 1425. [ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, WANG Lei, et al. Desalination effect of halophytes in heavily salinized soil of Karamay, Xinjiang, China [J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(5): 1420 – 1425.]

[10] 王若水, 康跃虎, 万书勤, 等. 内陆干旱区不同灌溉制度对盐碱地滴灌土壤盐分离子分布的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 567 – 574. [WANG Ruoshui, KANG Yuehu, WAN Shuqin, et al. Effects of different irrigation regimes on the distribution of soil salt under drip irrigation on saline and alkaline soil in inland and arid regions[J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 2013, 44(3): 567 – 574.]

[11] 赵成义, 闫映宇, 李菊艳, 等. 塔里木灌区膜下滴灌的棉田土壤水盐分布特征[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 892 – 898. [ZHAO Chengyi, YAN Yingyu, LI Juyan, et al. Distributed characteristics of soil water-salt of cotton field under drip irrigation under mulching in Tarim Irrigated Area[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(6): 892 – 898.]

[12] 苏里坦, 玉米提, 宋郁东, 等. 滴头流量对干旱区膜下滴灌棉田土壤盐分变化的影响[J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 889 – 895. [SU Litan, YU Miti, SONG Yudong, et al. Effects of emitter discharge rate on soil salt dynamics in cotton field under drip irrigation with mulching condition in arid regions[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(6): 889 – 895.]

[13] 黄玮, 李志刚, 乔海龙, 等. 旱盐互作对盐地碱蓬生长及其渗透调节物质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 173 – 178. [HUANG Wei, LI Zhigang, QIAO Hailong, et al. Interactive effect of sodium chloride and drought on growth and osmotica of *Suaeda salsa*[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(1): 173 – 178.]

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002. [BAO Shidan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002.]

[15] MMOLAWA K, OR D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review[J]. Plant and Soil, 222(1 – 2): 163 – 190.

[16] 窦凯歌, 王永东, 雷加强, 等. 咸水滴灌下塔里木沙漠公路防护林土壤盐分分布特征分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(3): 576 – 584. [DOU Kaige, WANG Yongdong, LEI Jiaqiang, et al. Salt distribution characteristics of Taklimakan Desert highway shelterbelt under saline water drip-irrigation[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(3): 576 – 584.]

[17] 郭全恩. 土壤盐分离子迁移及其分异规律对环境因素的响应机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010. [GUO Quanen. The response mechanism of soil ions transfer and diversity rule to environment factor[D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2010.]

[18] 窦朝银, 康跃虎. 地下水浅埋区重度盐碱地不同滴灌种植年限土壤盐分分布特征[J]. 土壤, 2010, 42(4): 630 – 638. [DOU Chaoyin, KANG Yuehu. Characteristics of soil salinity distribution in saline-sodic soil with shallow water table under mulch-drip irrigation in different planting years[J]. Soils, 2010, 42(4): 630 – 638.]

[19] 孙九胜, 耿庆龙, 常福海, 等. 克拉玛依农业开发区地下水埋深与土壤积盐空间异质性分析[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(8): 1471 – 1476. [SUN Jiusheng, GENG Qinglong, CHANG Fuhai, et al. Spatial distribution pattern quantitative analysis of soil salt accumulation and groundwater depth in the Karamay agricultural development zone[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(8): 1471 – 1476.]

[20] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 54 – 61. [ZHU Zuxiang. Soil science[M]. Beijing: Agriculture Press. 1982: 54 – 61.]

[21] 谭军利, 康跃虎, 焦艳平, 等. 不同种植年限覆膜滴灌盐碱地土壤离子分布特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 59 – 63. [TAN Junli, KANG Yuehu, JIAO Yanping, et al. Characteristics of soil salinity and salt ions distribution in salt-affected field under mulch-drip irrigation in different planting years[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 59 – 63.]

[22] 程镜润,陈小华,刘振鸿,等.脱硫石膏改良滨海盐碱土的脱盐过程与效果实验研究[J].中国环境科学,2014,34(6):1505 - 1513.[CHENG Jingrun,CHEN Xiaohua,LIU Zhenhong,et al. The experimental study on the process and effect to the FGD-gypsum as an improvement in coast saline-alkali soil[J]. China Environmental Science,2014,34(6):1505 - 1513.]

Effects of different planting years of *Suaeda salsa* on the soil ions distribution in saline-sodic soil under drip irrigation

WANG Xu[1,2], TIAN Chang-yan[1], ZHAO Zhen-yong[1], ZHANG Ke[1], LI Yan-hong[3]

(1 *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Sciences*, *Urumqi* 830011, *Xinjiang*, *China*; 2 *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*; 3 *Landscaping Administration Bureau of Karamay District*, *Karamay* 834000, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: Soil salinization is a serious hazard of agriculture in agricultural exploitation regions of Karamay City, Xinjiang, China. The effects of different planting years on the soil ions distribution in 0 - 120 cm soil profile under drip irrigation were investigated by the method of time-space transformation. The results showed that the soil salt distribution in soil profile was significantly affected by planting years. The soil salinity in the upper layers (0 - 40 cm) of the soil was decreased gradually with the increase of planting years, while the soil salinity in the lower layer (40 - 120 cm) was increased first then decreased. It is easy for Na^+ and Cl^- to be leached and their selective uptake by the plant is abundant, and thus their contents were decreased considerably along with the increase of the planting age. The decreasing rates of the two ions in upper layer soil were all above 49% after three planting years. Since it was hard for Ca^{2+} and SO_4^{2-} to move with water, the speed in leaching these two ions was slow. The speed in leaching Mg^{2+} was higher than that of Ca^{2+}. The leaching effect of HCO_3^- contents in the soil was influenced by hydrated radius, and was better in the second and the third planting years if compared with the first year. The percentage of Na^+ and Cl^- in salt content of upper layers was decreased while the percentage of Ca^{2+} was increased, and the *SAR* value and the soil salinity decreased significantly after three planting years. The research results pointed out that the characteristics of soil salinity and salt ions distribution in salt affected field was changed after planting *Suaeda salsa* under drip irrigation, the soil environment of root zone was improved which provided a good foundation in the future land use. The innovation of paper is to reveal the distribution of soil salinity and salt ions in the salt-affected field by planting *Suaeda salsa* under drip irrigation based on the investigation and analysis of 7 indicators for 210 soil samples. The previous researches mostly focused on the change of soil salinity and salt ions after planting halophytes, but few researches studied the characteristics of soil salinity and salt ions distribution. The result provided useful information for a seasonable reclamation of saline-sodic soil by planting *Suaeda salsa*.

Key words: drip irrigation; *Suaeda salsa*; planting years; salt distribution